

06

Прямое сращивание пластин карбида кремния с регулярным рельефом на интерфейсе

© И.В. Грехов, Л.С. Костина, Т.С. Аргунова, Е.И. Белякова, J.H. Je, П.А. Иванов, Т.П. Самсонова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия
Университет г. Поханг, Республика Корея

Поступило в Редакцию 6 января 2006 г.

Приведены результаты исследования прямого сращивания свободных от окисла монокристаллических пластин карбида кремния 6H–SiC (0001) с искусственным микрорельефом, сформированным на поверхности одной из пластин. По данным рентгеновских топографических исследований доля сросшейся площади достигает 85% от общей площади структуры. Распределение напряжений на интерфейсе неперiodическое, что свидетельствует о неоднородной микрошероховатости срачиваемых пластин.

PACS: 81.05.Hd

Твердофазное прямое сращивание (Direct Wafer Bonding, DWB) успешно используется в кремниевой технологии для изготовления приборов различного назначения [1]. В технологии карбидокремниевых структур метод DWB может оказаться весьма перспективным для создания гетероструктур на основе комбинаций различных политипов SiC. Достоинством метода DWB является возможность формирования SiC гетеропереходов практически в любой комбинации политипов. В то же время электрические параметры слоев в гетеропаре по обе стороны от гетероперехода могут легко контролироваться, поскольку они определяются исходными свойствами срачиваемых пластин SiC.

До настоящего времени по прямому сращиванию карбида кремния опубликованы лишь единичные работы. Наиболее значимые результаты получены авторами работы [2]: в условиях сверхвысокого вакуума им удалось срастить гладкие пластины 6H–SiC под давлением 20 МПа при температуре 800–1000°C. Было показано, что разница в кристаллогра-

фической ориентации соединяемых поверхностей не оказывает существенного влияния на сам процесс сращивания, однако разориентация существенно влияет на электрические свойства DWB-интерфейса.

В настоящей работе мы сообщаем о результатах, полученных при сращивании гладкой и профилированной пластин 6H-SiC (на поверхности одной из пластин был сформирован искусственный рельеф в виде ортогональной сетки канавок). В работах [3,4] было показано, что при прямом сращивании кремниевых пластин рельеф на интерфейсе препятствует формированию газовых ловушек, снижает уровень нормальных упругих напряжений и является эффективным средством понижения плотности приграничных дислокаций в областях между канавками за счет их оттока к свободным поверхностям канавок.

Образцы размером 1×1 см вырезались из одной и той же 2-дюймовой пластины 6H-SiC с ориентацией (0001). Регулярный рельеф с глубиной, шириной и шагом между канавками 10, 50 и $200 \mu\text{m}$ соответственно формировался с помощью селективного реактивного ионного травления SiC. Слабые повреждения, загрязнения и шероховатость поверхности устранялись механической полировкой алмазными пастами, химической очисткой и термическим окислением с последующим удалением окисла. На рис. 1 представлены результаты измерения микрошероховатости подготовленных таким образом пластин 6H-SiC с помощью атомно-силового микроскопа. Типичная среднеквадратичная величина микрошероховатости (root mean square, RMS) составила 1–3 nm, что является приемлемым для первоначального сцепления групп атомов через интерфейс. Дальнейшая подготовка пластин к сращиванию включала в себя химическую RCA отмывку и гидрофилизацию. Приведение пластин в контакт осуществлялось в деионизованной воде ($\rho_v \sim 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$). Пластины соединялись между собой полярными Si- и C-поверхностями с соблюдением одинаковой азимутальной ориентации. Далее каждая пара подвергалась сушке на центрифуге с последующей выдержкой при $T \sim 95\text{--}100^\circ\text{C}$ в течение 4 h на воздухе под нагрузкой $\sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$. После этого осуществлялась высокотемпературная обработка образцов — при 1250°C в течение 2 h на воздухе, также под нагрузкой $\sim 0.5 \text{ kg/cm}^2$.

Структурное совершенство границы раздела после сращивания изучалось с помощью рентгеновской дифракционной топографии в белом синхротронном излучении [5]. Синхротронный источник располагался на расстоянии 34 m от образца, что обеспечивало очень слабую расхо-

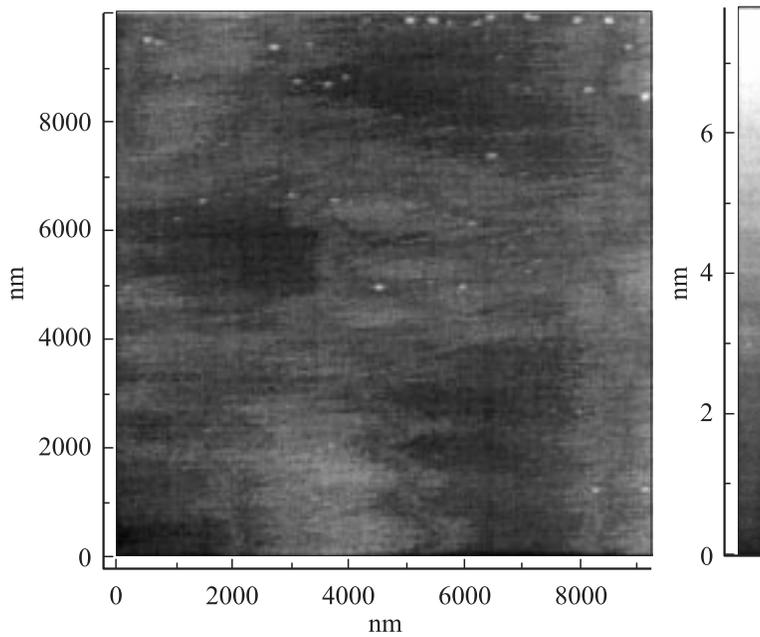


Рис. 1. AFM-изображение поверхности пластины SiC, подготовленной к прямому сращиванию.

димось пучка и, как следствие, высокую разрешающую способность. Для получения топограмм большой площади образец перемещался в синхротронном пучке с пошаговой регистрацией изображений.

На рис. 2 показаны типичные топограммы изготовленных SiC структур. Отметим, что неоднородное распределение интенсивности обусловлено дальнедействующими напряжениями кристаллической решетки, которые вызваны плотным контактом пластин со слабошероховатыми поверхностями [4,6,7]. Однородный контраст на топограмме свидетельствует о плохом сращивании.

Топограмма на рис. 2, *a* демонстрирует хорошее качество сращивания. В отличие от DWB-структур Si/Si, в которых наблюдается волнистый контраст, обусловленный микрошероховатостью с большой длиной когерентности [4,6], в образцах SiC/SiC распределение напряжений

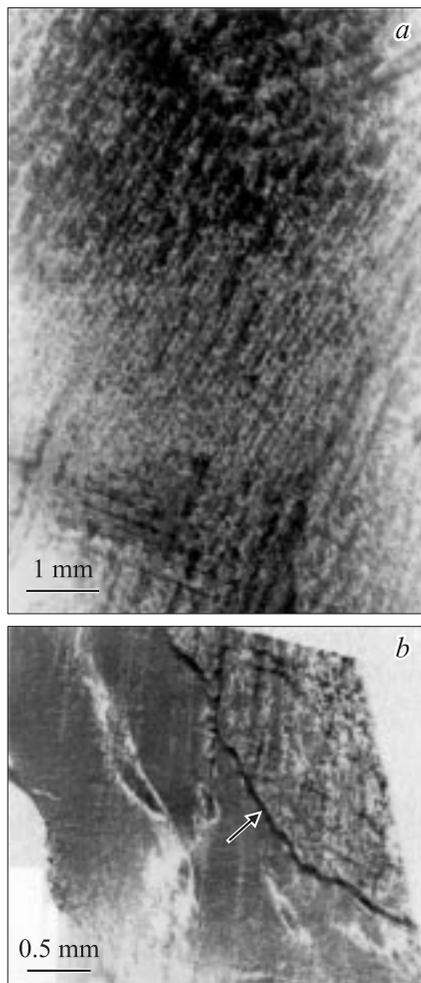


Рис. 2. Рентгеновские топограммы в белом синхротронном излучении от образца SiC/SiC с искусственным рельефом на интерфейсе: *a* — участок площади структуры, на котором сращивание прошло успешно, *b* — граница, отмеченная стрелкой, разделяет сросшуюся (вверху справа) и несросшуюся части структуры.

на интерфейсе оказалось непериодическим. Это указывает на более низкое качество обработки поверхности: RMS и длина когерентности микрошероховатости заметно изменяются по площади DWB-структуры. В нижней левой части топограммы на рис. 2, *a* можно видеть черные прямые линии, параллельные направлениям $\langle 110 \rangle$. Они представляют собой дислокации решетки. Одной из причин возникновения дислокаций может быть релаксация упругих напряжений на интерфейсе, которая произошла в условиях высокотемпературного отжига.

На рис. 2, *b* можно видеть две различные по качеству сращивания области и границу между ними. Верхний правый угол занимает участок, в пределах которого сращивание прошло успешно. Распределение контраста на остальной части снимка является довольно однородным (однородность контраста нарушается лишь влиянием слабой кривизны пластин). В этой части структуры пластины или не срослись, или находятся на стадии слабого контакта с малой плотностью связей между группами атомов через интерфейс.

Путем перемещения пластин в пучке синхротронного излучения была получена оценка доли сросшейся площади по методике, ранее использованной в работе [8]. Для лучших образцов сросшаяся площадь составляла 85% от общей площади структуры.

Из приведенных результатов следует, что формирование DWB-структур SiC/SiC с искусственным микрорельефом на одной из пластин является принципиально возможным. Следующим шагом будет исследование электрических свойств DWB-интерфейса в таких структурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ РАН — грант 05-02-17768.

Список литературы

- [1] *Tong Q.-Y., Gösele U. Semiconductor Wafer Bonding: Science and Technology.* J. Wiley&Sons, Inc., 1999. 279 с.
- [2] *Yushin G.N., Kvit A.G., Gollazo R., Sitar Z.* // *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 2003. V. 742. P. K-2.5.
- [3] *Grekhov I.V., Argunova T.S., Kostina L.S. et al.* // *Electronics Letters.* 1995. V. 31. P. 2047–2048.
- [4] *Аргунова Т.С., Грехов И.В., Костина Л.С. и др.* // *ФТТ.* 1999. Т. 41. В. 11. С. 1790–1798.

- [5] *Bowen D.K., Tanner B.K.* High Resolution X-ray Diffractometry and Topography. Taylor Francis, London, 1998.
- [6] *Härtwig J., Köhler S., Ludwig W.* et al. // Cryst. Res. Technol. 2002. V. 37. N 7. P. 705–715.
- [7] *Milita S., Le Tiec Y., Pernot E.* et al. // Appl. Phys. A. 2002. V. A75. P. 621–627.
- [8] *Грехов И.В., Костина Л.С., Аргунова Т.С.* и др. // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 6. С. 45–51.